谷氨酰胺对夏季水貂生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响1

纪君波　任慧英　张甜甜　赵伟臣　李文立*

（青岛农业大学动物科技学院，青岛 266109）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加不同水平的谷氨酰胺（Gln）对夏季水貂生长性能、血清生化指标及抗氧化能力的影响。选取育成期水貂 160 只，随机分为 5 组，每组 32 只（16 只公貂，16 只母貂），水貂单笼饲养。对照组水貂饲喂不添加 Gln 的基础饲粮，试验组水貂分别饲喂在基础饲粮基础上添加 0.2%、0.4%、0.6%和 0.8% Gln 的试验饲粮。试验期 8 周。结果表明：饲粮中添加 0.4%和 0.6%的 Gln 可显著提高母貂的平均日采食量（P<0.05）；饲粮中添加 0.4%的 Gln 可极显著提高水貂的平均日增重（P<0.01），并显著降低水貂的料重比（P<0.05）。饲粮中添加 Gln 对水貂血清葡萄糖含量和肌酸激酶活性无显著影响（P>0.05），但添加 0.4%和 0.6%的 Gln 可显著提高血清总蛋白含量（P<0.05），显著降低血清尿素氮含量（P<0.05）。饲粮中添加 0.2%和 0.4%的 Gln 可显著提高水貂血清抑制羟自由基能力（P<0.05），但对血清抗超氧阴离子能力无显著影响（P>0.05）；饲粮中添加 0.4%和 0.6%的 Gln 可显著降低水貂血清丙二醛含量（P<0.05），极显著提高血清总抗氧化能力（P<0.01），显著提高血清谷胱甘肽过氧化物酶活性（P＜0.05）。综合各项指标，夏季高温条件下，育成期水貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平为 0.4%。

关键词：水貂；谷氨酰胺；生长性能；血清生化指标；抗氧化能力

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

热应激是动物生产中普遍存在的问题，每年造成的经济损失很大[1]。随着全球气温升高，加之我国水貂养殖业的快速发展，人们开始关注水貂热应激问题。水貂喜凉怕热，夏季高温高湿环境对水貂健康和生长发育影响很大。高温应激不仅影响水貂的采食，还可影响肠道健康及营养物质的消化吸收，严重者可中暑，导致热衰竭，造成水貂死亡，给养殖业带来极大危害[2]。

研究表明，高温应激易诱发肉鸡体内出现过氧化状态，谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶等抗氧化酶活性下降，机体自身清除自由基的能力降低，引发脂质过氧化反应，机体的抗氧化能力降低，产生氧化应激[3]。谷氨酰胺(glutamine,Gln)是高温应激条件下动物的必需氨基酸，具有抗应激、抗氧化、增强免疫力等重要作用[4]。Hu 等[5]研究发现，正常情况下，动物体可以通过自身合成 Gln，但是机体在应激情况下，内源合成的 Gln 远不能满足

收稿日期：2017-09-30
基金项目：山东省现代农业产业技术体系特种经济动物产业创新团队项目（SDAIT-21-04）
作者简介：纪君波（1993—），男，山东青岛人，硕士研究生，从事单胃动物营养与饲料科学研究。E-mail：2241340497@qq.com
*通信作者：李文立，教授，硕士生导师，E-mail： wlli@qau.edu.cn

需求量，机体会出现强烈应激、免疫力下降等不良效应。家禽在热应激条件下对 Gln 的需要量超过了机体的合成能力，易出现抗氧化功能下降、免疫机能降低等现象[6]。李文立等[7]研究发现饲粮中添加 Gln 可显著提高热应激条件下肉鸡血清和肠道的抗氧化性能。李欢等[8]研究发现，Gln 在一定程度上可以缓解断奶仔猪因脂多糖（LPS）引起的氧化应激。有关 Gln 对水貂高温应激的影响鲜见报道。本试验在夏季育成期水貂饲粮中添加不同水平的 Gln，通过研究 Gln 对水貂生长性能、血清生化指标和抗氧化指标的影响，旨在探讨 Gln 对夏季水貂体内抗氧化性能的影响，为缓解水貂高温应激提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料及饲粮

试验用 Gln 购于无锡金维氨生物科技有限公司，食品级，有效成分含量为 99%。试验期间饲喂的基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
鱼排 Fish steak	14.00	干物质 DM	37.18
海杂鱼 Sea fish	18.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	15.12
鸡胃 Chicken gastric stomach	10.00	粗蛋白质 CP	34.01
膨化玉米 Expanded corn	8.00	粗脂肪 EE	21.42
鸡肝 Chicken liver	5.00	粗灰分 Ash	8.91
花生饼 Peanut cake	2.00	钙 Ca	2.41
鸡蛋 Egg	17.00	磷 P	1.95
鸡头 Chicken head	10.00	赖氨酸 Lys	2.86
鸡肠 Chicken intestine	10.00	蛋氨酸 Met	1.18
水 Water	6.00	半胱氨酸 Cys	0.85
合计 Total	100.00		

干物质、粗蛋白质、粗灰分、钙、磷、赖氨酸、蛋氨酸和半胱氨酸为实测值，代谢能为计算值。

DM, CP, EE, ash, Ca, P, Lys, Met and Cys were measured values, while the ME was a calculated value.

1.2　试验动物及设计

试验选用断奶分窝后的育成期短毛黑水貂（美国短毛黑与标准貂杂交后裔）160 只，其中公貂 80 只，母貂 80 只，同性别之间体重相近。将试验水貂随机分为 5 组，每组 32 只，公母各占 1/2，水貂单笼饲养，每组 32 个重复。其中 1 组为对照组，饲喂不添加 Gln 的基础

饲粮，2～5 组为试验组，分别饲喂基础饲粮基础上添加 0.2%、0.4%、0.6%和 0.8%Gln 的试验饲粮。试验时间为 2016 年 7 月 3 日至 2016 年 8 月 27 日，预试期 1 周，正试期 7 周。

1.3　饲养管理

试验在山东省青岛市即墨区的某水貂养殖场进行。饲养试验前对棚舍、笼舍、地面等进行全面冲洗和消毒。全期自由饮水和采食，根据分组饲喂相应的饲粮，每天 07:00 和 17:00 各喂料 1 次。先把每组所需要的 Gln 中加入少量水溶解后，再与称量好的基础饲粮混合均匀。试验期间采用 HOBO 温湿度记录仪测定棚舍内温湿度（貂笼上方 30 cm 处）。7 月份白天（09:00-17:00）平均舍温 30.1 ℃，最高温度 38.6 ℃，其中最高温度超过 35 ℃的有 10 d，夜间（17：00-次日 09:00）平均舍温 25.4 ℃；7 月份白天相对湿度平均为 75.5%，夜间相对湿度平均为 87.1%，其中最高相对湿度超过 95%的有 6 d。8 月份白天平均舍温 31.4 ℃，最高温度 39.0 ℃，其中最高温度超过 35 ℃的有 17 d，夜间平均舍温 26.8 ℃；8 月份白天相对湿度平均为 76.7%，夜间相对湿度平均为 89.3%，其中最高相对湿度超过 95%的有 7 d。

1.4　采血及血清制备

饲养试验结束后，从每组随机抽取接近于平均体重的公貂、母貂各 6 只。采用剪趾尖法进行采血，取血样 3 mL，3 000 r/min 低温离心 10 min，离心后取上层血清，分装于 1.5mL 离心管中，-80 ℃冷冻待测。

1.5　测试指标及方法

1.5.1　生长性能指标

试验期间每天记录给料量和剩料量，分别统计公貂和母貂的平均日采食量；每周早晨进行空腹称重 1 次，分别统计公貂和母貂的平均日增重；根据平均日采食量和平均日增重计算料重比。试验期间记录死亡情况，计算死亡率。

1.5.2　血清生化指标

葡萄糖（GLU）含量采用葡萄糖氧化酶法测定；总蛋白（TP）含量采用考马斯亮兰法测定；尿素氮（UN）含量采用二乙酰一肟法；肌酸激酶（CK）活性采用比色法测定。上述指标均用试剂盒测定，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.5.3　血清抗氧化指标

抑制羟自由基（·OH）能力采用比色法测定；抗超氧阴离子自由基（O_2^{-}·）能力采用化学比色法测定；丙二醛（MDA）含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定；总抗氧化能力（T-AOC）采用比色法测定；超氧化物歧化酶（SOD）活性采用羟胺法测定；谷胱甘肽过氧化物酶

（GSH-Px）活性采用比色法测定；过氧化氢酶（CAT）活性采用钼酸铵法测定。上述指标均用试剂盒测定，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.6 数据处理及统计分析

采用 SPSS 17.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)程序进行方差分析，并采用 LSD 法进行多重比较。试验数据以“平均值±标准差”表示。*P*<0.05 和 *P*<0.01 分别为差异显著和极显著水平。

2 结果与分析

2.1 Gln 对水貂生长性能的影响

Gln 对公貂生长性能的影响见表 2。由表中数据可知，公貂的平均日采食量各组间差异不显著（*P*>0.05）。公貂的平均日增重各试验组均高于对照组，具体表现为 0.4%Gln 组极显著高于对照组（*P*<0.01），0.2%Gln 组和 0.4%Gln 组显著高于 0.6%Gln 组、0.8%Gln 组和对照组（*P*<0.05）。对照组公貂的料重比显著高于各试验组（*P*<0.05）；各试验组中，以 0.4%Gln 组公貂的料重比最低，显著低于 0.8%Gln 组和 0.6%Gln 组（*P*<0.05）。试验期间对照组和 0.2%Gln 组公貂各死亡 1 只，其余各组均无死亡情况发生。

表 2 Gln 对公貂生长性能的影响

Table 2 Effects of Gln on growth performance of male minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值 *P*-value
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
平均日采食量 ADFI/g	198.16±37.40	202.17±36.81	212.33±39.71	197.17±35.88	201.50±38.34	0.860
平均日增重 ADG/g	13.74±0.55^{Bb}	14.99±0.90^{ABa}	15.85±0.82^{Aa}	14.24±0.72^{ABb}	14.16±0.69^{ABb}	0.040
料重比 F/G	14.42±0.53^{a}	13.48±0.31^{d}	13.39±0.29^{d}	13.84±0.39^{c}	14.23±0.41^{b}	0.031
死亡率 Mortality/%	6.25	6.25	0.00	0.00	0.00	

同行数据肩注相同小写字母或无字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01）。下表同。

In the same row, values with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

Gln 对母貂生长性能的影响见表 3。由表中数据可见，母貂的平均日采食量表现为 0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组显著高于 0.2%Gln 组、0.8%Gln 组和对照组（*P*<0.05），其余各组间差异不显著（*P*>0.05）。母貂的平均日增重各试验组均高于对照组，以 0.4%Gln 组平均

日增重最高，极显著高于 0.2%Gln 组、0.8%Gln 组和对照组（P<0.01），同时 0.6%Gln 组也显著高于 0.2%组、0.8%Gln 组和对照组（P<0.05），其余各组间差异不显著（P>0.05）。对照组母貂的料重比显著高于各试验组（P<0.05）；各试验组中，以 0.4%Gln 组母貂的料重比最低，显著低于 0.2%Gln 组和 0.8%Gln 组（P<0.05）。试验期间对照组、0.6%Gln 组和 0.8%Gln 组母貂各死亡 1 只，其余 2 组均无死亡情况发生。

表 3　Gln 对母貂生长性能的影响

Table 3　Effects of Gln on growth performance of female minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值 *P*-value
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
平均日采食量 ADFI/g	142.33±11.69^{b}	140.9±13.11^{b}	157.83±8.9^{a}	159.17±10.38^{a}	143.33±16.59^{b}	0.046
平均日增重 ADG/g	5.62±0.71^{Bb}	5.95±0.59^{Bb}	7.31±0.53^{Aa}	7.03±0.39^{ABa}	5.83±1.02^{Bb}	0.036
料重比 F/G	25.32±0.57^{a}	23.68±0.41^{c}	21.59±0.38^{de}	22.64±0.77^{d}	24.58±0.55^{b}	0.027
死亡率 Mortality/%	6.25	0.00	0.00	6.25	6.25	

2.2　Gln 对水貂血清生化指标的影响

Gln 对公貂血清生化指标的影响见表 4。由表中数据可见，公貂血清中葡萄糖、总蛋白和尿素氮含量以及肌酸激酶的活性各组间的差异均不显著（P>0.05）。这表明，饲粮中添加不同水平的 Gln 对公貂血清生化指标未产生显著影响。

表 4　Gln 对公貂血清生化指标的影响

Table 4　Effects of Gln on serum biochemical indexes of male minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值 *P*-value
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
葡萄糖 GLU/（mmol/L）	8.48±1.22	7.98±0.17	8.48±0.53	8.39±0.58	8.58±0.51	0.839
总蛋白 TP/（g/L）	78.55±2.17	79.41±0.68	81.51±1.22	80.51±0.36	80.84±1.49	0.128
尿素氮 UN/（mmol/L）	13.04±0.45	11.76±0.43	11.92±0.89	12.09±1.47	11.83±0.74	0.426
肌酸激酶 CK/（U/L）	12.01±0.80	12.61±0.35	12.85±0.28	12.13±0.16	11.95±0.86	0.281

Gln 对母貂血清生化指标的影响见表 5。由表中数据可见，饲粮中添加不同水平的 Gln 对母貂血清葡萄糖含量和肌酸激酶活性的影响不显著（$P>0.05$），但对母貂血清总蛋白和尿素氮含量有影响显著（$P<0.05$）。母貂血清总蛋白含量各试验组均高于对照组，且 0.4%Gln 组显著高于 0.2%Gln 组和对照组（$P<0.05$），其余各组间差异不显著（$P>0.05$）。对照组母貂血清尿素氮含量显著高于 0.4%Gln 组、0.6%Gln 组和 0.8%Gln 组（$P<0.05$），其余组间差异均不显著（$P>0.05$）。

表 5　Gln 对母貂血清生化指标的影响

Table 5　Effects of Gln on serum biochemical indexes of female minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值 *P*-value
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
葡萄糖 GLU/（mmol/L）	8.29±0.70	8.64±0.61	8.40±0.79	8.21±1.60	8.39±1.18	0.953
总蛋白 TP/（g/L）	78.13±1.25^{c}	79.04±0.21^{bc}	80.78±1.07^{a}	79.78±0.34^{ab}	79.33±0.67^{abc}	0.028
尿素氮 UN/（mmol/L）	12.80±0.64^{a}	11.97±0.25^{ab}	11.44±1.15^{b}	11.26±0.28^{b}	10.94±0.25^{b}	0.031
肌酸激酶 CK/（U/L）	11.57±0.81	12.00±0.21	12.39±0.23	12.95±1.08	12.01±0.84	0.269

2.3　Gln 对水貂血清抗氧化指标的影响

Gln 对公貂血清抗氧化指标的影响见表 6。由表中数据可见，各试验组公貂血清抑制羟自由基能力均高于对照组，具体表现为 0.2%Gln 组和 0.4%Gln 组显著高于 0.8%Gln 组和对照组（$P<0.05$），其余各组间差异不显著（$P>0.05$）。公貂血清抗超氧阴离子自由基能力各组间无显著差异（$P>0.05$）。对照组、0.2%Gln 组和 0.8%Gln 组公貂血清丙二醛含量显著高于 0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组（$P<0.05$）。公貂血清总抗氧化能力各试验组均高于对照组，具体表现为 0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组极显著高于对照组和 0.2%Gln 组（$P<0.01$），0.8%Gln 组极显著高于对照组（$P<0.01$），0.8%Gln 组显著高于 0.2%Gln 组（$P<0.05$）。公貂血清超氧化物歧化酶活性各组间差异不显著（$P>0.05$）。公貂血清谷胱甘肽过氧化物酶活性各试验组均高于对照组，具体表现为 0.2%Gln 组、0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组显著高于对照组（$P<0.05$），0.4%Gln 组显著高于 0.8%Gln 组（$P<0.05$），其余各组间无显著差异（$P>0.05$）。公貂血清过氧化氢酶活性各试验组均高于对照组，其中 0.4%Gln 组显著高于对照组（$P<0.05$），其余各组间无显著差异（$P>0.05$）。

表 6　Gln 对公貂血清抗氧化指标的影响

Table 6　Effects of Gln on serum antioxidant indexes of male minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值 *P*-value
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	
抑制羟自由基能力 Restraining ·OH ability/（U/mL）	587.09 ± 14.91^{b}	658.63 ± 33.12^{a}	666.70 ± 31.50^{a}	624.38 ± 26.57^{ab}	602.00 ± 10.04^{b}	0.011
抗超氧阴离子自由基能力 O_2^-• resistance ability/（U/L）	776.12 ± 37.81	778.07 ± 41.04	789.37 ± 12.02	792.74 ± 38.51	786.14 ± 15.23	0.956
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	39.30 ± 0.83^{a}	37.63 ± 0.63^{ab}	36.68 ± 0.37^{c}	36.27 ± 0.77^{c}	37.97 ± 0.43^{ab}	0.011
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	13.70 ± 1.60^{Cb}	14.91 ± 1.25^{BCb}	18.17 ± 0.53^{Aa}	18.29 ± 0.81^{Aa}	17.19 ± 0.58^{ABa}	0.001
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	120.09 ± 4.56	120.70 ± 7.15	123.06 ± 10.99	126.36 ± 6.60	127.40 ± 8.95	0.730
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	$3\ 534.3\pm61.0^{c}$	$3\ 724.8\pm129.5^{ab}$	$3\ 748.2\pm36.1^{a}$	$3\ 707.2\pm39.8^{ab}$	$3\ 594.5\pm19.3^{bc}$	0.014
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	38.33 ± 0.79^{b}	39.22 ± 0.66^{ab}	40.87 ± 0.17^{a}	39.44 ± 0.90^{ab}	40.25 ± 1.41^{ab}	0.043

Gln 对母貂血清抗氧化指标的影响见表 7。由表中数据可见，各试验组母貂血清抑制羟自由基能力均比对照组高，具体表现为 0.4%Gln 组显著高于对照组、0.2%Gln 组和 0.8%Gln（*P*<0.05），0.6%Gln 组显著高于对照组（*P*<0.05），其余各组间无显著差异（*P*>0.05）。母貂血清抗超氧阴离子自由基能力各组间差异不显著（*P*>0.05）。对照组母貂血清丙二醛含量显著高于 0.2%Gln 组、0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组（*P*<0.05），0.8%Gln 组显著高于 0.4%Gln 组和 0.6%Gln 组（*P*<0.05），其余各组间无显著差异（*P*>0.05）。各试验组母貂血清总抗氧化能力均极显著高于对照组（*P*<0.01），各试验组间差异不显著（*P*>0.05）。0.6%Gln 组母貂血清超氧化物歧化酶活性显著高于 0.2%Gln 组、0.8%Gln 组及对照组（*P*<0.05）。0.4%Gln 组、0.6%Gln 组母貂血清谷胱甘肽过氧化物酶活性显著高于 0.2%Gln 组、0.8%Gln 组及对照组（*P*<0.05），0.8%Gln 组显著高于对照组（*P*<0.05）。母貂血清过氧化氢酶活性各组间差异不显著（*P*>0.05）。

表 7　Gln 对母貂血清抗氧化指标的影响

Table 7　Effects of Gln on serum antioxidant indexes of female minks

项目 Items	Gln 添加水平 Gln supplemental level/%					*P* 值
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	*P*-v

						alue
抑制羟自由基能力 Restraining ·OH ability/（U/mL）	580.48±29.84^{c}	617.93±23.05^{bc}	672.98±31.37^{a}	633.54±18.69^{ab}	608.69±17.93^{bc}	0.012
抗超氧阴离子自由基能力 O_2^-• resistance ability/（U/L）	777.60±31.12	792.71±23.14	800.81±32.19	786.37±13.74	781.10±15.24	0.780
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	40.11±0.45^{a}	38.23±0.39^{bc}	37.45±0.43^{c}	37.33±0.61^{c}	39.32±0.33^{ab}	0.012
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	13.17±1.13^{Bb}	16.06±1.75^{Aa}	17.26±0.91^{Aa}	17.80±0.73^{Aa}	17.19±0.52^{Aa}	0.003
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	115.27±6.00^{bc}	118.42±2.16^{b}	121.73±2.05^{ab}	129.63±7.33^{a}	119.44±6.49^{b}	0.025
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	3571.8±64.5^{c}	3617.5±74.1^{bc}	3827.0±61.8^{a}	3798.1±30.7^{a}	3676.5±58.9^{b}	0.037
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	39.14±1.03	40.18±1.04	40.75±0.56	39.73±1.15	40.30±0.88	0.362

3 讨 论

3.1 Gln 对夏季水貂生长性能的影响

高温环境可减少畜禽采食量，降低饲料转化率和生长速度[1, 3-4]。水貂自然生长于北美、北欧等寒冷地区，喜凉怕热。本试验期间 7、8 月份貂舍平均温度均在 30 ℃以上，最高舍温达到了 39 ℃，平均相对湿度均在 75%以上，足以对水貂产生热应激，影响其采食和生长发育。诸多研究表明饲粮中添加 Gln 能提高热应激动物的生长性能。董金格等[9]研究表明，在肉仔鸡早期饲粮中补充适宜水平的 Gln 有利于提高采食量、日增重并降低料重比。路静等[10]研究表明，热应激条件下在饲粮中添加一定水平的 Gln 有利于提高肉鸡的采食量、日增重。这与 Gln 特殊的生理功能有关，畜禽在高温状态下机体对 Gln 的需要量增加，而体内合成量不足，需要补充外源 Gln 才可满足需要，从而维持畜禽体内代谢和免疫机能的正常，使其健康生长[3]。本试验结果也表明在夏季高温条件下，饲粮中添加 Gln 可以提高育成期公貂和母貂的平均日增重，增加母貂的平均日采食量，降低料重比，随着 Gln 添加水平的增加，水貂的增重速度逐渐增加，Gln 达到一定添加水平（0.4%）时，水貂增重速度达到最大，而后逐渐下降。上述结果表明，饲粮中添加 0.4%的 Gln 足以缓解高温条件对水貂采食和生长发育产生的不利影响，继续增加 Gln 的添加水平对水貂的增重效果的影响不明显。

3.2 Gln 对夏季水貂血清生化指标的影响

高温季节水貂采食量减少，营养物质摄入不足，必然导致体内物质代谢发生改变，体内

贮备的营养物质分解加快，满足机体的营养需要，从而引起血液生化指标的变化。刘凤华等[11]报道，高温条件下，肉鸡血清总蛋白含量降低，血清尿素氮含量升高。刘铀等[12]研究表明，热应激状态下的鸡血液葡萄糖含量保持稳定。黄冠庆等[13]试验表明，高温下饲粮中添加 Gln 显著提高肉鸡血液总蛋白含量，降低血液尿素氮含量，但高温下在饲粮中添加 Gln 对血液葡萄糖含量无显著影响。本试验结果表明，饲粮中添加不同水平的 Gln 对公貂和母貂血清葡萄糖含量和肌酸激酶活性均无显著影响，与上述研究结果一致，表明 Gln 可以维持体内代谢环境的相对恒定。本试验还发现，饲粮中添加 Gln 可提高母貂血清总蛋白含量，降低血清尿素氮含量，这可能是由于水貂生长发育过程中对蛋白质需要量较高，Gln 提高了水貂体内蛋白质的利用率，使得血清总蛋白含量升高，体组织蛋白质合成增加，进而降低了血清尿素氮含量，从而有利于缓解高温带来的不良影响。但添加 Gln 对公貂血清总蛋白和尿素氮含量没有产生显著影响，这可能是由于性别差异造成的。从血清生化指标考虑，饲粮中添加 0.2%的 Gln 即可达到较理想效果。

3.3 Gln 对夏季水貂血清抗氧化酶活性的影响

体内抗氧化物酶主要包括谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶及超氧化物歧化酶。研究表明，Gln 影响体内谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶及超氧化物歧化酶的活性，促进谷胱甘肽（GSH）合成，提高和维持机体还原型 GSH 水平[14]。夏季高温条件下动物氧化应激增强，体内活性氧自由基增多，需要提高机体的抗氧化酶活性来降低氧自由基产生的危害。黄冠庆等[15]研究表明，高温下饲粮中添加 0.5%和 0.8%Gln 可显著提高 30 日龄左右的黄羽肉鸡血液中谷胱甘肽过氧化物酶的活性，显著降低血液中丙二醛的含量，但对血液中 SOD 活性无显著影响。李文立等[7]研究表明，在饲粮中添加 Gln 可以显著提高热应激肉鸡血清谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶及超氧化物歧化酶活性，当抗氧化酶活性最高时，肉鸡饲粮中 Gln 添加水平以 1.6%比较合适。本试验结果表明，饲粮中添加适宜水平的 Gln 可显著提高公貂血清谷胱甘肽过氧化物酶及过氧化氢酶活性，提高母貂血清超氧化物歧化酶及谷胱甘肽过氧化物酶的活性，表明添加 Gln 可在一定程度上提高夏季水貂体内的抗氧化酶活性。本试验中，公貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平为 0.2%～0.4%，母貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平为 0.4%～0.6%。考虑到实际生产，水貂（公貂和母貂）饲粮中 Gln 的添加水平以 0.4%较为适宜。

3.4 Gln 对夏季水貂血清抗自由基能力的影响

动物体内的自由基主要为活性氧类，其中以羟自由基和超氧阴离子自由基最为重要，可引起多种病变，从而威胁动物机体的健康。在机体正常的状态下，自由基含量是处于动态平

衡的，产生和消除的速度基本一致，但在高温等应激情况下，动物体内清除自由基的能力降低，自由基含量增多无法清除而危害健康[16]。本试验研究发现，饲粮中添加 Gln 能够提高夏季公貂和母貂血清抑制羟自由基能力，说明高温可诱导体内氧化应激，Gln 对改善机体抗氧化状况产生有益作用，公貂、母貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平均为 0.4%。

3.5　Gln 对夏季水貂血清丙二醛含量和总抗氧化能力的影响

丙二醛作为体内脂质过氧化产物，是体内氧化应激程度的主要标志物[17]。总抗氧化能力是衡量机体抗氧化能力的综合性指标，其大小可总体上反映机体自由基代谢的状态及机体抗氧化系统对外来刺激的代偿能力[18]。李文立等[7]研究表明，饲粮中添加 Gln 能显著提高热应激肉鸡血清总抗氧化能力，显著降低丙二醛的含量。本试验结果表明，在饲粮中添加一定水平的 Gln 显著提高了公貂和母貂血清总抗氧化能力，降低了丙二醛含量，表明 Gln 可在一定程度上提高机体的抗氧化能力，缓解夏季高温对水貂的不利影响，公貂、母貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平均为 0.4%～0.6%。

4　结　论

夏季高温条件下，饲粮中添加 Gln 可提高水貂的平均日增重，降低料重比，改善水貂体内蛋白质代谢，提高机体的抗氧化能力。综合考虑生长性能、血清生化指标和抗氧化指标，夏季水貂饲粮中 Gln 的适宜添加水平为 0.4%。

参考文献：

[1]　董淑丽,邓雯,雷雪芹,等.热应激对动物理化特性及生产性能的影响[J].河南科技大学学报:农学版,2003(1):59–62,66.

[2]　王宝,陈有旺,韩旭东.我国水貂养殖的现状与发展前景分析[J].北方牧业,2009(23):14.

[3]　林海.家禽热应激状态下的营养与生理反应[M]//李德发.动物营养研究进展.北京:中国农业科学技术出版社,2004:237–248.

[4]　唐现文,刘勇.谷氨酰胺对热应激肉仔鸡生长性能及抗氧化活性的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2012(23):51–53.

[5]　HU H,BAI X,WEN A,et al.Assessment of interactions between glutamine and glucose on meat quality,AMPK,and glutamine concentrations in pectoralis major meat of broilers under acute heat stress[J].The Journal of Applied Poultry Research,2016,25(3):370–378.

[6]　陈瑾,周小秋,冯琳.谷氨酰胺对动物肠道抗氧化能力的影响[J].饲料工业,2009,30(2):55–57.

[7] 李文立,路静,孙振钧,等.谷氨酰胺对热应激肉鸡抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2011,23(4):695–702.

[8] 李欢,黄牛,何流琴,等.谷氨酰胺对脂多糖诱导的断奶仔猪氧化应激的影响[J].动物营养学报,2017,29(4):1350–1358.

[9] 董金格,胡家澄,邹晓庭,等.外源添加谷氨酰胺对肉仔鸡生长性能和胴体组成的影响[J].中国饲料,2009(1):33－35.

[10] 路静,李文立,姜建阳,等.谷氨酰胺对热应激肉鸡生长性能和血清生化指标的影响[J].中国家禽,2010,32(18):15－18.

[11] 刘凤华,吴国娟,五占贺,等.热应激对仔鸡血清生化及免疫指标的影响[J].北京农学院学报,2002,17(4):51–54.

[12] 刘铀,林红英,罗东君,等.热应激对肉鸡血液生化指标及内分泌机能的影响[J].湛江海洋大学学报,1999,19(1):61–64.

[13] 黄冠庆,林红英,黄晓亮.谷氨酰胺对高温下黄羽肉鸡增重及血液生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2006,33(2):3–5.

[14] 宋芳杰,王连生,徐奇友.谷氨酰胺及其前体物对松浦镜鲤组织抗氧化能力及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):627–634.

[15] 黄冠庆,林红英,黄晓亮,等.谷氨酰胺对黄羽肉鸡生长、抗氧化力及肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(21):60–64.

[16] 张辰喝,魏安琪,王妍,等.天然食品添加剂清除自由基作用的研究进展[J].化学与生物工程,2017,34(8):1–4.

[17] 杨野仝,赵丽君,张桂英,等.谷氨酰胺对小鼠耐缺氧和抗氧化能力的影响[J].吉林中医药,2012,32(8):827–828,831.

[18] 边连仝,陈静,刘显军.谷氨酰胺对早期断奶仔猪小肠粘膜形态和抗氧化性能的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(6):849–852.

Effects of Glutamine on Growth Performance, Serum Biochemical Indexes and Antioxidant Capacity of Minks in Summer

JI Junbo　REN Huiying　ZHANG Tiantian　ZHAO Weichen　LI Wenli*

（*College of Animal Science and Technology*, *Qingdao Agricultural University*, *Qingdao* 266109, *China*）

*Corresponding author, professor, E-mail： wlli@qau.edu.cn

(责任编辑　菅景颖)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of glutamine on growth performance, serum biochemical indexes and antioxidant capacity of minks in summer. One hundred and sixty minks at the growing period were selected and randomly divided into 5 groups. Each group had 16 male minks and 16 female minks, a total of 32 replicates in each group. The minks in control group were fed a basal diet (not adding glutamine), the minks in experimental groups were fed experimental diets which supplemented with 0.2%, 0.4%, 0.6% and 0.8% glutamine on the basis of the basal diet, respectively. The experiment lasted for 8 weeks. The results show that diet supplmented with 0.4% and 0.6% glutamine could significantly increase the average daily feed intake of female minks ($P<0.05$), and diet supplmented with 0.4% glutamine could significantly increase the average daily gain of minks ($P<0.01$), while significantly decreased the feed to gain ratio of minks ($P<0.05$). Serum glucose content and creatine kinase activity were not significantly influenced by adding glutamine in the diets ($P>0.05$), but diet supplmented with 0.4% and 0.6% glutamine could significantly increase the serum total protein content ($P<0.05$), and significantly decreased the serum urea nitrogen content ($P<0.05$). Diet supplmented with 0.2% and 0.4% glutamine could significantly improve the restraining hydroxyl free radical ability of minks ($P<0.05$), but there was no effect on the serum superoxide anion resistance ability ($P>0.05$). Diet supplmented with 0.4% and 0.6% glutamine could significantly decrease the serum malondialdehyde content ($P<0.05$), significantly increase the serum total antioxidant capacity ($P<0.01$), and significantly increase the serum glutathione peroxidase activity of minks ($P<0.05$). Taking into account of each index in this experiment, the suitable supplemental level of glutamine in diets of minks in summer is 0.4%.

Key words: minsk; growth performance; glutamine; serum biochemical indexes; antioxidant capacity